

信頼・効率・参加を同時に実現する次世代カーボンニュートラル・エコシステムの設計と提案

著者: Masahiro Aoki

ドキュメントID: MT2025-CC-01-006

ORCID ID: 0009-0007-9222-4181

所属: Moonlight Technologies 株式会社

日付: 2025年6月1日

要旨 (Abstract)

本研究は、現行のカーボンクレジット市場が抱える構造的な問題「情報の断片化、不透明性、非効率性、そして消費者不在のシステム設計」を解決するため、ブロックチェーン技術を応用した次世代カーボンニュートラル・エコシステムを設計・提案する。提案モデルは、非営利団体によって運営される認可制プライベートチェーンを「中立かつ公共的な原簿管理層」と位置づけ、クロスチェーン・ブリッジ技術により既存レジストリや市場と相互運用性を確保する。これにより、

- (1) グローバルIDを通じた重複登録の原理的防止、
- (2) クレジット発行と流通の自動化、
- (3) NFT分割を通じた製品単位での参加と価値共有を実現する。

本稿は、特定主体による中央集権を避けつつ、信頼性と市場効率、広範な参加性を兼ね備えたエコシステムの実装可能な設計図を提示する。

1. 緒言 (Introduction)

地球温暖化対策において、カーボンクレジット制度は民間資金を動員し、削減可能性のある場所に資源を再配分する重要な市場インフラである。しかし現行の仕組みでは、次のような限界がある：

- 複数のレジストリにまたがるデータの不整合と重複登録（ダブルカウティング）
- 手作業を前提とした煩雑で高コストなプロセス
- クレジットのトレーサビリティの欠如と「グリーンウォッシュ」批判
- 市場参加者が大企業や専門機関に限定されていることによる一般市民の疎外

これらは制度設計だけでなく、インフラ技術の限界とも深く関係している。したがって本研究は、制度中立性を担保しながら技術的に信頼性・効率性・参加性を高めるインフラ設計に焦点を当てる。

2. 従来技術と課題

2.1 複数レジストリによるサイロ化 各プロジェクトのクレジットはVerra、Gold Standard、J-Credit等の別個の番号体系・承認基準に基づき記録されており、国際的な一意性が保証されない。

2.2 中央依存型プロセスの限界 全体が中央管理（レジストリ）によって保持されるため、リス

ク分散がされず、トランザクション処理や再利用の可視性に欠ける。

2.3 市民参加型市場の欠如 カーボンオフセットの「価値」は大企業の会計処理に埋没し、消費者にとって実感を伴う「行動の対価」として還元されていない。

3. 提案手法：全員参加型エコシステム

3.1 設計原則

- 非営利・認可制・中立性重視のマスターチェーンを構築する
- クロスチェーン・ブリッジによって既存制度との互換性を確保
- NFT分割トークンでオフセット貢献の所有権と可視性を消費者まで拡張

3.2 コンセプト：「piece of peace」 温室効果ガス削減という抽象的行為を、個人が「所有」し「共有」できるトークン化された証拠に変換する。製品やサービスに埋め込まれることにより、オフセット価値の「実感」を促進する。

4. システムアーキテクチャ

4.1 階層構造

本エコシステムは、役割の異なる3つの階層から構成される。以下の図は、本エコシステムの階層構造と主要な参加者を示したものである。

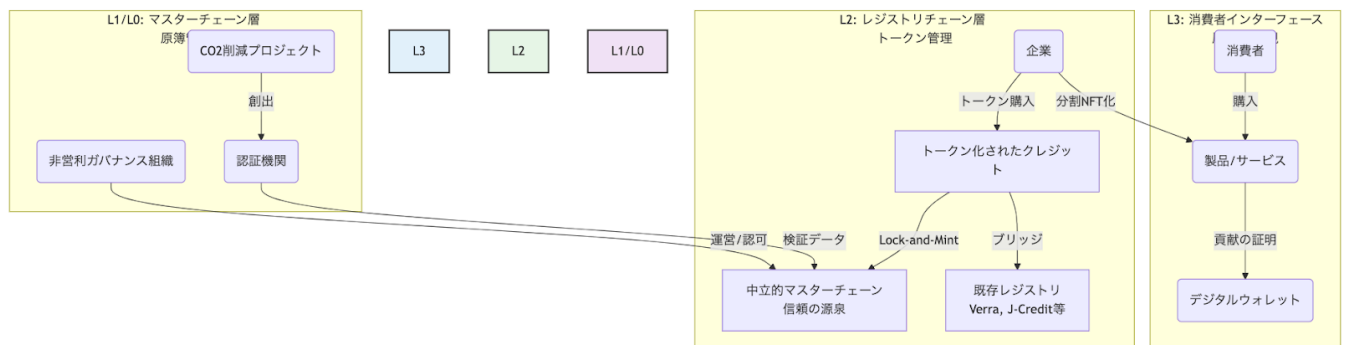


図1. 提案するエコシステムの階層型アーキテクチャ

4.2 各構成要素の機能

- **L0/L1: マスターチェーン**
 - **運営:** 中立的非営利団体（国際コンソーシアム等）がガバナンスを担う。
 - **アクセス:** KYC（本人確認）と認可制により不正や低品質なプロジェクトの流入を防止する。
 - **データ:** プロジェクトのグローバルID、削減量、第三者認証機関による検証結果などを記録し、信頼の源泉（Source of Truth）として機能する。
- **L2: レジストリチェーン**

- **準拠性:** J-CreditやVerraといった既存レジストリと技術連携し、各市場の法令や基準遵守を可能にする。
- **トークン化:** マスターチェーン上の原簿から指定量だけのクレジットをLockし、対応する量のトークンをMint（発行）する（Lock-and-Mint方式）。これにより、クレジットの権利がデジタルアセットとしてトークン化される。
- **L3: 消費者インターフェース**
 - **実装:** L2で発行されたトークンを基に、**NFT（非代替性トークン）をさらに細分化したNFT分割トークン**を発行する。この分割トークンを製品やサービスに紐づけ、消費者の購買行動によって当該トークンを**Burn（無効化）**する。
 - **体験:** 消費者は貢献の証として、その実行記録を自身のデジタルウォレット等で取得・管理可能となる。

以下のフロー図は、CO2削減プロジェクトの創出から、クレジットが消費者に届くまでの一連のライフサイクルを示している。

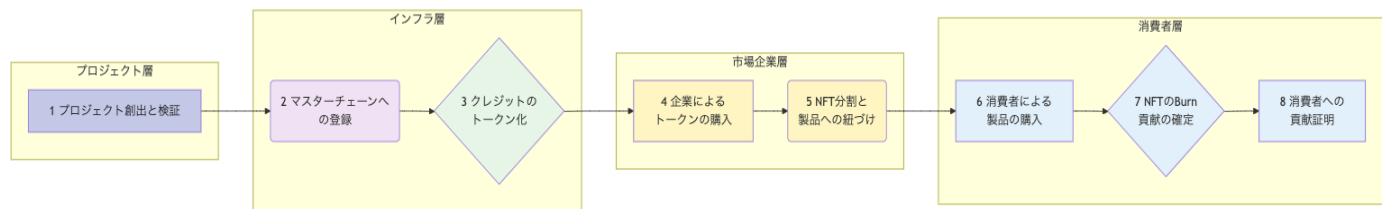


図2. カーボンクレジットのライフサイクル・プロセスフロー

5. 技術的考察と社会的影響

5.1 中央集権性への対処 マスターチェーンの運営主体は非営利・中立・多国籍ガバナンスを原則とし、認可制度を採用することで透明性を保ちつつスパム等を防ぐ。この認可制は、例えば、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）が定める方法論に準拠したプロジェクトであることや、参加する認証機関・企業が所定のデューデリジェンスを満たすことなどを基準とし、エコシステムの品質と信頼性を担保するゲートウェイとして機能する。これにより、技術的な中央集権を社会的な中立性で補完し、ガバナンスリスクを低減する。

5.2 クロスチェーンの安全性 セキュリティリスクに対しては、定期的な第三者監査と、ブリッジのガバナンスにマルチシグネチャ（複数署名）体制を採用することで、単一障害点や悪意ある攻撃への耐性を高める。

5.3 消費者主導の市場形成とインセンティブ設計 NFTの分割により、1kg単位等の小口での貢献が可能となり、製品・サービスを通じてエンゲージメント型のマーケットが形成される。この市場は、各ステークホルダーに明確なインセンティブを提供する。プロジェクト創出者はトレーサビリティを確保し収益性を向上させ、認証機関はその権威とビジネス機会を拡大できる。企業は、証明可能なESG活動を通じてブランド価値と顧客ロイヤリティを高めることが可能となる。このように、トラストレスな参加でもなく、規制頼みでもない「自律的な市場形成」が期待される。

6. 今後の課題

- **法的整合性の確保:** 発行されるトークンが証券等に該当するかの各国法規制への準拠。
- **国際標準化の促進:** ISO等の国際標準化団体や、WBCSD（持続可能な開発のための世界経済人会議）といった国際機関との連携。
- **ユーザビリティの確保:** 一般消費者が意識せずに利用できる、シームレスなUI/UX設計が普及の鍵となる。

7. 結論

本研究は、カーボンのクレジット市場が直面する構造的課題に対し、非営利認可制のプライベートチェーンを中核とした階層型アーキテクチャを提示することで、技術と制度の間を橋渡しする新たな社会インフラを提案する。これは「信頼」「効率」「参加」を同時に実現するための持続可能な仕組みであり、制度依存型の温室効果ガス削減モデルから、市民共創型の気候行動エコシステムへの進化を指し示すものである。

参考文献 [1] Satoshi Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," 2008. [2] Wood, G., "Ethereum: A Secure Decentralised Generalised Transaction Ledger," Ethereum Project Yellow Paper, 2014. [3] World Bank, "State and Trends of Carbon Pricing 2023," Washington, DC: World Bank, 2023. [4] Belchior, R., et al., "A Survey on Blockchain Interoperability: Past, Present, and Future Trends," ACM Computing Surveys, Vol. 54, No. 7, 2021. [5] Wang, C., et al., "Non-Fungible Token (NFT): A Review and Research Agenda," Journal of Business Research, Vol. 161, 2023.

用語集

- **カーボンのクレジット:** 温室効果ガス排出量の削減または吸収量をクレジットとして取引できるようにした制度。
- **NFT (Non-Fungible Token):** 代替不可能なトークン。固有の価値を持つデジタル資産を表現するために使用される。
- **NFT分割トークン:** NFTを細分化し、より小さな単位で取引できるようにしたトークン。
- **ブロックチェーン:** 分散型台帳技術。複数の参加者によって共有・管理され、改ざんが困難なデータ記録システム。
- **マスターチェーン:** エコシステムの基盤となるチェーン。中立的な運営が求められる。
- **クロスチェーン・ブリッジ:** 異なるブロックチェーン間でのデータや資産の相互運用を可能にする技術。
- **Burn (無効化):** トークンを永久に使用不可能な状態にすること。二重使用防止のために行われる。
- **レジストリ:** カーボンのクレジットの登録・管理を行う機関。